

Metropolia
Ammattikorkeakoulu

Insinöörityö

Ville Wallendahr

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma

Ville Wallendahr
WiMAX-verkkotekniikka

Insinööriyö 11.3.2010

Ohjaaja: projektipäällikkö Inga Ojala
Ohjaava opettaja: lehtori Aarne Klemetti

Tekijä	Ville Wallendahr
Otsikko	WiMAX-verkkotekniikka
Sivumäärä	49 sivua
Aika	11.3.2010
Koulutusohjelma	mediatekniikka
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Ohjaaja	projektipäällikkö Inga Ojala
Ohjaava opettaja	lehtori Aarne Klemetti
<p>Insinööriyössä tutkittiin WiMAX-verkkotekniikan soveltuvuutta langattomaksi tiedonsiirtojärjestelmäksi lentokenttäympäristön alueella toimivalle yritykselle. Tavoitteena oli selvittää WiMAX-tekniikan hyödyntäminen lentokentän sisätiloissa sekä pidemmän välimatkan yhteytenä Helsinki-Vantaan lentokentän ja Helsingin kaupungin välillä. Lisäksi tutkittiin vastaavien muiden tekniikoiden, kuten kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmien, vastaavaa toiminnallisuutta ja soveltuvuutta yrityksen tarkoituksiin.</p> <p>WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) on langaton laajakaistatekniikka, joka perustuu IEEE 802 -sarjan avoimeen 802.16-standardiin. WiMAX-tekniikka tarjoaa käyttäjille tiedonsiirtonopeudeltaan nykyisiä kaapelimodeemi- ja DSL-yhteyksiä vastaavan langattoman verkkoyhteyden. WiMAXin käyttö ei ole sidoksissa rakennuskohtaisiin rajoihin, ja yhteyden kantamatka on suurempi kuin WLAN-verkon.</p> <p>Työssä tutkittiin mahdollisuutta rakentaa WiMAX-testiympäristö. Alkuperäisistä suunnitelmista poiketen testiympäristöä ei toteutettu kustannus- ja taajuuden lisensointisyiden vuoksi. Työhön lisättiin riittävä määrä laskelmaesimerkkejä, joiden avulla voidaan suunnitella toimiva WiMAX-verkko.</p> <p>Työssä tuli selväksi, että tekniikka ei vielä toistaiseksi sovellu WLAN-verkon korvaajaksi, mutta WiMAX-tekniikan tarjoamat mahdollisuudet pitkän kantamatkan osalta tulivat esille. Työn aikana tutustuttiin myös muihin rinnakkaistekniikoihin, kuten kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmiin. Osa rinnakkaistekniikoista oli paremmin ja helpommin toteutettavissa kuin WiMAX-järjestelmä, johtuen paremmasta saatavuudesta ja olemassa olevan verkon edullisesta päivittämisestä.</p> <p>Insinööriyön tulosten perusteella yritys ei laajenna toimintaa toistaiseksi WiMAX-tekniikan avulla, vaan hyödyntää olemassa olevia resursseja tehokkaasti. WiMAX-tekniikan kustannukset ovat suuret sekä tukiasema- että päätelaitteiden osalta. Tämän lisäksi tekniikka ei ole yleistyt riittävästi, jotta kannattavaa liiketoimintaa voidaan rakentaa WiMAX-tekniikan ympärille. Insinööriyö toimii pohjana tulevaisuudessa, mikäli yritys katsoo ajankohtaiseksi siirtyä WiMAX-tekniikan käyttäjäksi.</p>	
Hakusanat	WiMAX, man, wan, 802.16-standardi, wibro, hiberan, langaton verkko, 450 MHz:n järjestelmä

Author	Ville Wallendahr
Title	WiMAX web-technology
Number of Pages	50 (total number of pages including appendices)
Date	3 March 2010
Degree Programme	Media Technology
Examination	Bachelor Of Engineering
Instructor Supervisor	Inga Ojala, Project Manager Aarne Klemetti, Senior Lecturer
<p>The purpose of this thesis was to study how WiMAX-technology suits as a wireless network service for a company located in an airport environment. The goal was to analyze how WiMAX-technology can be utilised inside the airport indoor areas and as a long distance network connection between the Helsinki-Vantaa airport and the Helsinki city centre. Also, similar technologies such as the third generation mobile phone systems were examined for the purpose of the company.</p> <p>WiMAX-technology is a wireless broadband data communication technology, which is based on the IEEE 802-series open standard 802.16. WiMax-technology offers a customer wireless data connection speed equivalent to current modem and DSL-data connection speed. The use of WiMAX-technology is not restricted by building-specific boundaries and the connection range is wider than in WLAN-network system.</p> <p>In addition, the possibility to build a WiMAX-test environment was investigated in this study, but due to high expenses and problems with frequency licensing, the test environment could not be built. However, calculations and formulas concerning the design were added in this thesis; based on them it would be possible to design a functioning WiMAX-network.</p> <p>During this study it became clear that despite its many advantages, WiMAX-technology is not ready to replace WLAN-technology yet. Similar technologies such as third generation mobile phone systems were found to be more feasible than the WiMAX system.</p> <p>Based on the results of this study, the company has decided not to invest in WiMAX-technology. Instead, the company will look into using the already existing resources more effectively. The cost of base stations and terminal equipment used in WiMAX-technology are high. In addition, this technology is not widespread enough to enable a profitable business which can be built with the WiMAX.</p> <p>This study will hopefully serve as a starting point for the company should they someday be interested in improving their services with WiMAX-technology</p>	
Keywords	WiMAX, man, wan, 802.16-standard, wibro, hiberlan, Wireless network, 450 MHz system.

Sisällys

Tiivistelmä

Abstract

Lyhenteet

1	Johdanto	6
2	WiMAX-tekniikka	8
2.1	Historia ja nykyhetki	8
2.2	Standardit	9
2.3	WiMAX-tekniikan rakenne	10
2.4	Taajuusalue	12
2.5	Modulaatio	13
2.6	Rinnakkaistekniikat	16
2.7	WiMAX-laitteet	18
2.8	Roaming-yhteys	21
2.9	Parannukset 802.16e-standardissa	23
3	Antennit	24
3.1	Antenniratkaisut	24
3.2	Antennin mitoittaminen WiMAX-järjestelmälle	24
3.3	Toimivan linkin suunnittelu	28
4	WiMAXin erot 3G- WLAN- ja 450 MHz:n tekniikoihin	29
4.1	Matkapuhelinverkot	29
4.2	Mediastreamaus	30
4.3	Video	30
4.4	QoS	30
4.5	450 MHz:n Flash-OFDM-tekniikka	32
4.6	Tilanne suomessa	33
4.7	Flash-OFDM-tiedonsiirtonopeus	34
5	WiMAX-tekniikan testaus lentokenttäympäristössä	35
5.1	Testauksen tavoitteet	35
5.2	Vaimentuma sisätiloissa	36
5.3	Johtopäätökset	37
6	Yhteenveto	38
	Lähteet	44
	Liitteet	
	Liite 1. WiMAX-päätelaitevalmistajia	47
	Liite 2. Sähköpostikeskustelu, Ficora	48

Lyhenteet

AAS Adaptive Antenna Systems

BE Best Effort

BS Base Station

BWA BroadBand Wireless Access

CBR Constant Bit Rate

DL Downlink

DSL Digital Subscriber Line

ETSI European Telecommunications Standards Institute

FLASH Fast Low-latency Access with Seamless Handoff

IP Internet Protocol

LAN Local Area Network

LOS Line-of-sight

MAC Medium Access Control

MAN Metropolitan Area Network

MP Multipoint

NLOS Non-line-of-sigh

nrtPS None-Real-Time Polling Services

OFDM Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA Orthogonal Frequency Division Multiple Access

PAN Personal Area Network

PDU Protocol Data Unit

QAM Quadrature Amplitude Modulation

QoS Quality of Service

QPSK Quadrature Phase Shift Keying

rtPS Real-Time Polling Services

SS Subscriber Station

UL Uplink

WiFi Wireless Fidelity

WiMAX Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN Wireless Local Area Network

WMAN WirelessMetropolitanAreaNetwork

1 Johdanto

Insinööriyön tavoitteena on tutkia WiMAX-tekniikan soveltuvuutta yritykselle, joka toimii lentokentällä. Työn tekohetkellä yritys tarjoaa yhteydet WLAN-tekniikan avulla. WLAN-tekniikan ongelma on lyhyt kantomatka, ja tähän ongelmaan etsitään ratkaisua WiMAX-tekniikasta. WiMAX-tekniikka on nuori ja heikosti tunnettu. Työn tavoitteena on luoda tekniikasta ja sen yritykselle tarjoamista mahdollisuuksista selkeä kuva, jonka perusteella päätetään WiMAX-järjestelmään perustuvan verkon mahdollisesta rakentamisesta.

Insinööriyö on yritykselle tehty. Se sijaitsee Helsinki-Vantaan lentokentällä. Yritys toimii lentokentällä omalla liikepaikallaan ja tarjoaa matkustajille langatonta laajakaistapalvelua. Tietoliikenneyhteyden lisäksi se tarjoaa tiloissaan työpisteitä.

Yrityksen liiketoiminta perustuu laajakaistayhteyden vuokraamiseen asiakkaille, jotka liikkuvat lentokentällä. Kannattavan liiketoiminnan perusteena on verkkojärjestelmä, joka on mahdollisimman monen käytettävissä. WLAN-tekniikka on lähes jokaisessa kannettavassa tietokoneessa. Työssä pohditaan WiMAXin tulevaisuutta ja sitä, mitä edellytyksiä sillä on muuttua tekniikaksi, jonka odotetaan yleistyvän laajalti.

WiMAX-tekniikka on IEEE:n (Institute of Electrical and Electronics Engineers) standardoitu langaton verkkotekniikka. Järjestelmä toimii maakohtaisesti vapaille taajuusalueilla. Suomessa tekniikka toimii 3,4–3,8 Ghz:n taajuudella. Työssä tutkitaan WiMAXin historiaa, tekniikkaa, toimintaa ja sen sovelluksia. Työssä tutustutaan WiMAX-tekniikan historiaan ja siinä pohditaan sitä, miksi tekniikka on tarpeellinen ja mihin se on suunniteltu.

Työssä käsitellään WiMAX-tekniikkaan liittyviä standardeja, jotta ymmärretään WiMAXin kehityskaari, ja samalla tämä luo kuvan siitä, miten WiMAX-tekniikka kehittyy tulevaisuudessa. Suomenkielistä kirjallista lähdemateriaalia WiMAX-tekniikasta ei ollut saatavilla tämän työn kirjoitushetkellä.

Insinööriyössä on tarkoitus toteuttaa WiMAX-järjestelmän testausvaihe, jossa tutkitaan, kuinka hyvin tekniikka toimii käytännössä, ja sitä, miten teoreettiset tietoliikennenopeudet ja kantomatkaetäisyydet vastaavat käytännön tilanteessa saatuja tuloksia. Työssä tutkitaan lisäksi muita verkkotekniikoita, joita voidaan pitää toiminnallisuudeltaan vastaavina.

2 WiMAX-tekniikka

2.1 Historia ja nykyhetki

Vuonna 1998 elokuussa syntyi ensimmäisen kerran ajatus 802.16-standardista. Tämä foorumi on vastuussa standardin kehittämisestä ja ylläpidosta. Lisäksi työryhmä on vastuussa rinnakkaistekniikoiden, kuten WirelessMANin ja muiden vastaavien tekniikoiden kehittämisestä. Nykyinen tavoite on yhdistää ja kehittää standardien 802.16, 802.16a ja 802.16REVd standardit yhtenäisiksi. Ensimmäinen tapaaminen oli elokuussa 1998, ja se oli nimellä ”National Wireless Electronics System Testbed of the U.S. National Institute Of Standard and Technology”. Tapaaminen käynnisti 802.16-työryhmän. Alkaen heinäkuusta 1999 WiMAX-ryhmä on kokoontunut vähintään joka neljäs kuukausi. Tapaamisissa on kuultu tähän mennessä yli 700:aa yksittäistä henkilöä, joista löytyy myös suomalaisia, esimerkiksi Nokian palveluksessa olevia alan asiantuntijoita. Mielenkiinnosta asiaa kohtaan kertoo se, että vuonna 2000 IEEE 802.16 -www-sivusto keräsi yli 2,8 miljoonaa kävijää. Tässä vaiheessa kokoelma oli kuitenkin vasta alkutekijöissään. [1.]

WiMAX Forum

WiMAX Forum on tarkalleen ottaen yritysryhmä, joka on ottanut tehtäväkseen luoda määräyksiä ja toimintamalleja, jotta tekniikka yleistyisi. WiMAX Forumiin kuuluvat muun muassa Nokia, Ericsson, Alcatel ja muita alan suuria yrittäjiä. Elokussa 2006 oli jäseniä yhteensä 375. Yhteisö on voittoa tavoittelematon ryhmä, jonka tavoitteet olivat esimerkiksi vuodelle 2006 seuraavat:

- markkinoida ja edesauttaa WiMAXin tavoitteita
- pyrkiä luomaan WiMAX-järjestelmistä markkinajohtaja omalla segmentillään
- rakentaa perusrunko nopeaan datan siirtoon kiinteillä ja liikuteltavilla yhteyksillä
- määrittää WiMAX-sertifioituja laitteita markkinoille

- kehittää WiMAX profiilia pohjautuen IEEE 802.16- ja ETSI-standardeihin ja luoda niiden välille yhteensopivuus maailmanlaajuisesti. [1.]

2.2 Standardit

IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) on määrittänyt useita standardeja WiMAX-tekniikkaan. WiMAX perustuu IEEE 802 -sarjan standardiin 16, joka on avoin. Standardi on alun perin valmistunut vuonna 2001, mutta sen kehitystyö alkoi jo vuonna 1998. Standardi julkaistiin virallisesti 8.4.2002. Alkuperäinen standardi tunnetaan nimellä IEEE 802.16-2001. Standardia kehitetään voimakkaasti, ja sen edellinen versio on IEEE Std. 802.16-2004. Kokoelma on hyväksytty kesällä 2004. Uusin versio on IEEE 802.16-2005, joka oli aikaisemmin nimetty IEEE 802.16e. Uusin versio on julkaistu joulukuussa 2005. Uusimmassa versiossa on lisätty parannuksia mobiililaitteisiin, ja standardissa on parannettu modulaatiomallia. Se määrittelee kiinteiden langattomien järjestelmien ja mobiililaitteiden parannetun OFDMA:n eli skaalautuvan OFDMA:n, SOFDMA (Scaleable Orthogonal Frequency Division Multiplexing. Access). Vanhempi malli ja uudempi eivät ole keskenään suoraan yhteensopivia, mutta useat valmistajat ovat ilmoittaneet, että ne lisäävät molempien standardien tuen päätelaitteisiin. Lisäksi ne ovat kehittämässä siirtymäajalle ei-standardoitua järjestelmää. [2.]

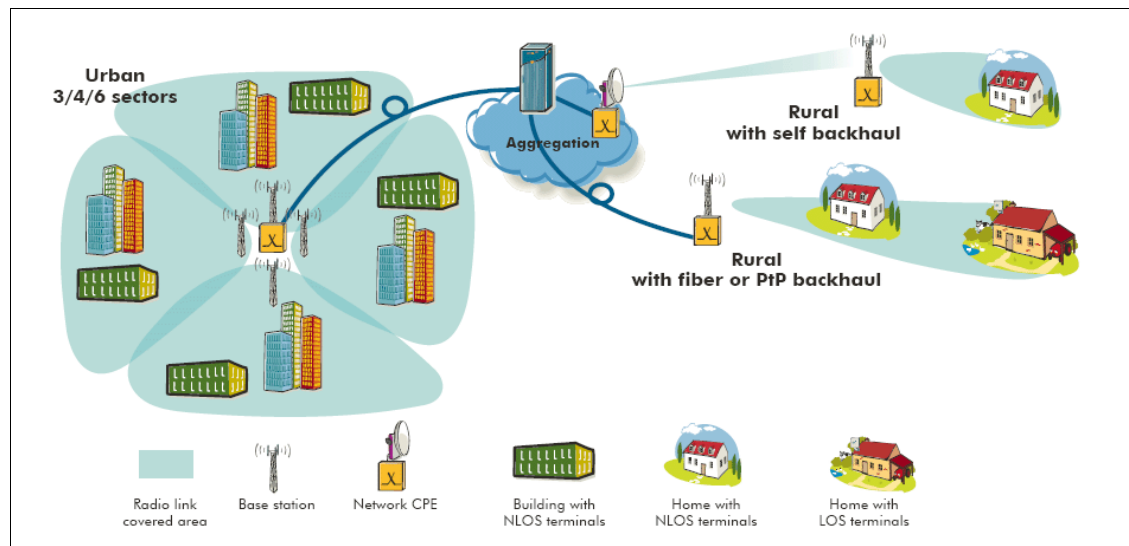
2.3 WiMAX-tekniikan rakenne

Nykypäivänä useat kuluttajat kytkeytyvät internetiin kupariverkkojärjestelmillä. Niihin voidaan lukea DSL (Digital Subscription Line)-, kaapeli ja modeemikytkentäiset yhteydet. Vuonna 2006 oli Suomessa internetyhteys noin 60 prosentilla kansasta. Kupariverkkojen etuna on valmis verkko, joka on etenkin taajamissa lähes aina olemassa oleva ja tekniseltä laadultaan riittävä. Kupariverkkojen ongelmana ovat kohtuullisen lyhyet toimintaetäisyydet. Tämän hetken nopeita, jopa 8 Mbit/s -yhteyksiä varten on asiakkaan päätelaitteen oltava alle 2 kilometrin päässä tukiasemasta.

Ongelma ei ole suuri tiheillä asutusalueilla, mutta haja-asutusalueilla ongelma on arkipäivää. Linjanopeutta laskemalla voidaan etäisyyttä tosin kasvattaa, mutta vain tiettyyn rajaan saakka. Ongelmaksi muodostuu kuparikaapeliverkossa usein myös kannattavuus. Useiden kilometrien päähän asennettavat kaapelit tulevat suhteettoman kalliiksi, ja monesti kyseessä on vain muutamalle tai jopa vain yhdelle tilaajalle saatava verkko. WiMAX-verkko on ratkaisu näihin niin kutsutuihin "last mile" -yhteyksiin. Arkkitehtuuri mahdollistaa jopa 70 kilometrin tukiasema-tukiasemayhteyden. Vaikka laitteistot ovat kalliita, siitä huolimatta kupariverkkojärjestelmän asennuskustannukset ovat huomattavasti suuremmat.

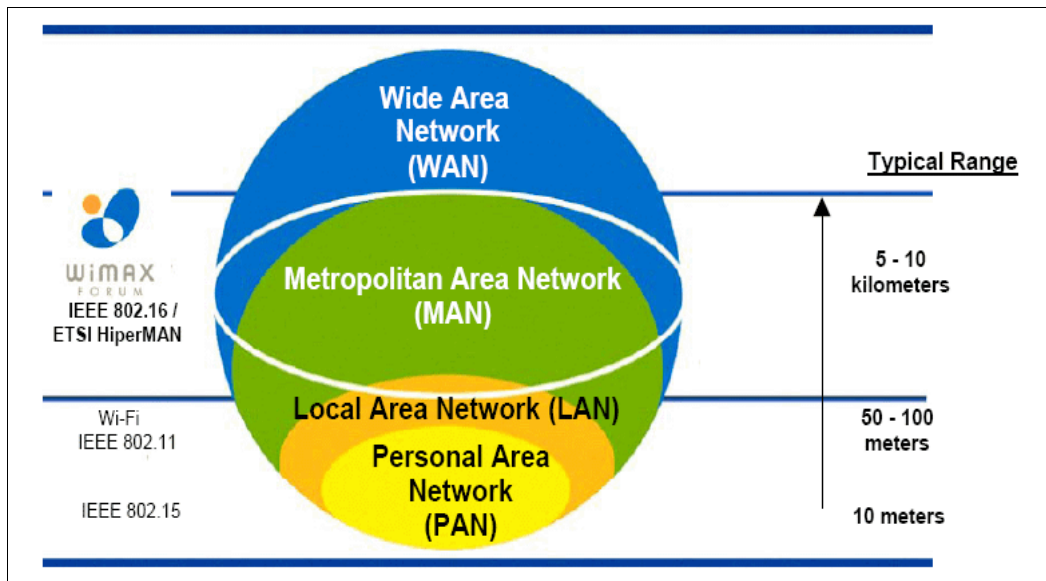
Mainospuheista poiketen WiMAXin mahdollistama 70 Mbit/s -yhteys 70:n kilometrin päähän päätelaitteen liikkeessa jopa 70 mailin tuntinopeudella olisi mahdollinen. Todellisuudessa väite on vain osin oikein. Yksi näistä kolmesta tekijästä on mahdollinen, mutta vain optimaalisessa tilanteessa. Todellisuudessa laskennallisista raja-arvoista jäädään paljon. Kaiken kaikkiaan WiMAXin etu on esimerkiksi WLAN:iin verrattaessa se, että järjestelmä pystyy luomaan nopean yhteyden huomattavasti pidemmälle etäisyydelle kuin WLAN. WiMAX-järjestelmäarkkitehtuuri on hyvin samankaltainen GSM-verkon kanssa. Tukiasemien väliset etäisyydet voivat olla suuria ja yksittäinen solu kattaa pienemmän alueen. [2.] Kuvassa 1 näkyy WiMAX-verkon fyysinen rakenne. Tiuhaan asutetulla alueella käytetään pieniä soluja ja haja-asutusalueille

verkkoon kytkeydytään mikroaaltolinkin avulla, joka korvaa perinteisen kuparilankayhteyden.



Kuva 1. WiMAXin rakenne [3].

Yleensä WiMAX-verkossa on kaksi yhdistymistapaa. Niin kutsuttu Point-to-Point LOS eli tukiasemien välillä oleva yhteys on suoraan esteittä näkyvissä (LOS, Line Of Sight). Toinen tapa on niin kutsuttu Point-to-Multipoint NLOS -yhteys. NLOS-yhteydet tulivat mahdolliseksi 802.16a-laajennuksessa, jossa määriteltiin myös alemman 2–11 Ghz:n taajuusalueen käyttö. Yleisesti LOS-yhteyksiä käytetään, kun tukiasemien välimatka on suuri. Tämä tapa mahdollistaa myös suuremmat tiedonsiirtonopeudet. NLOS-yhteys on toiminnaltaan hyvin lähellä tavallista WLAN-yhteyttä, jossa ei tarvita näkyvää yhteyttä tukiasemaan. Käytettävään tiedonsiirtokapasiteettiin vaikuttaa huomattavan paljon yhteydellä käytettävä modulaatio. Tätä asiaa käsitellään myöhemmin tässä dokumentissa kohdassa modulaatio. [4.] Kuvassa 2 nähdään WiMAXin sijoittuminen muihin verkkotasoihin nähden. Kuten kuvasta ilmenee, tekniikan tarkoituksena on täyttää aukko, joka muodostuu WAN- ja LAN-tasojen väliin.



Kuva 2. IEEE-standardien sijoittuminen etäisyyden mukaan [5].

2.4 Taajuusalue

802.16-määritelmän mukaan alkuperäinen mielenkiinnon kohde oli 10–66 GHz:n taajuusalue. 802.16a-standardin mukana maaliskuussa 2000 määritelmään tuli alempi taajuusalue, 2–11 GHz. Esimerkiksi Yhdysvalloissa suurin kaupallisesti vapaa taajuussegmentti on 2,5 GHz. Tämän taajuusalueen on lisensoinut Sprint Nextel -yritys. Muualla maailmassa suurin mielenkiinto kohdistuu 3,5 GHz:n, 2,3 GHz:n, 2,5 GHz:n ja 5 GHz:n taajuuksille. Jonkin verran on myös herätelty toiveita analogisten TV-kanavien poistuttua, että mahdollisesti alle 1 GHz:n taajuusaluetta voitaisiin tulevaisuudessa hyödyntää WiMAX-tekniikan laitteiden käytössä. Taajuusalueiden ongelma ja haaste on niiden erilainen kohtelu maakohtaisesti. Tällä hetkellä eri maissa on eri tavalla lisensoidut taajuudet. Etuna on kuitenkin se, että taajuudet voidaan jakaa sen mukaan, millä mantereella ollaan. Aasiassa, Euroopassa ja Amerikan mantereella käytetään samoja taajuuksia. Amerikassa käytössä oleva 2,5 GHz:n alue on monessa muussa maassa myös vapaa, mutta toisaalta Euroopassa usein vapaa 3,5 GHz:n alue ei taas ole vapaasti käytössä Yhdysvalloissa. [6, liite 2.]

Alemmat taajuusalueet

Koska kaikki taajuusalueet eivät ole samanarvoisia, etenkin silloin, kun pyritään saamaan pidempiä välimatkoja, WiMAX Forum pyrkii saamaan käyttöön alle 1 GHz:n taajuuksia. Etenkin analogisten TV-lähetysten käyttämät taajuudet ovat mielenkiinnon kohteena. Taajuuksien odotetaan vapautuvan sen jälkeen, kun TV-lähetykset siirtyvät lopullisesti digitaaliaikaan. Esimerkiksi Yhdysvalloissa on aikaisemmin TV-lähetysten käyttämä UHF-taajuusalue on määriteltävä tulevaisuudessa langattomien tiedonsiirtojärjestelmien käyttöön taajuusalueen 747–801 MHz osalta. Lisäksi mielenkiintoinen alue on myös entinen NMT-verkon käyttämä 450 MHz:n alue.

Tilanne Suomessa

WiMAX toimii Suomessa radiotaajuudella, joka on luvanvarainen. Verkon rakentaminen vaatii Viestintävirastolta taajuusluvan. Myöhemmin on mahdollisesti tulossa mahdollisuus käyttää WiMAXia myös muille taajuuksille. Tämä asiaa selviää, kun Viestintävirasto ja Euroopan unioni saavat valmiiksi neuvottelut taajuusalueiden käytöstä Euroopassa.

Liitteessä 1 on tietoa Ficoran määrittelemistä taajuuksista WiMAX-alueella ja niillä käytettävien laitteiden suurimmista sallituista lähetystehoista.

Suomessa viestintätaajuuksia hallinnoi Ficora (Viestintävirasto). Otin yhteyttä sinne, jotta saisin kuvan tämänhetkisestä tilanteesta. Saamani tiedot ovat liitteessä 1. [6.]

2.5 Modulaatio

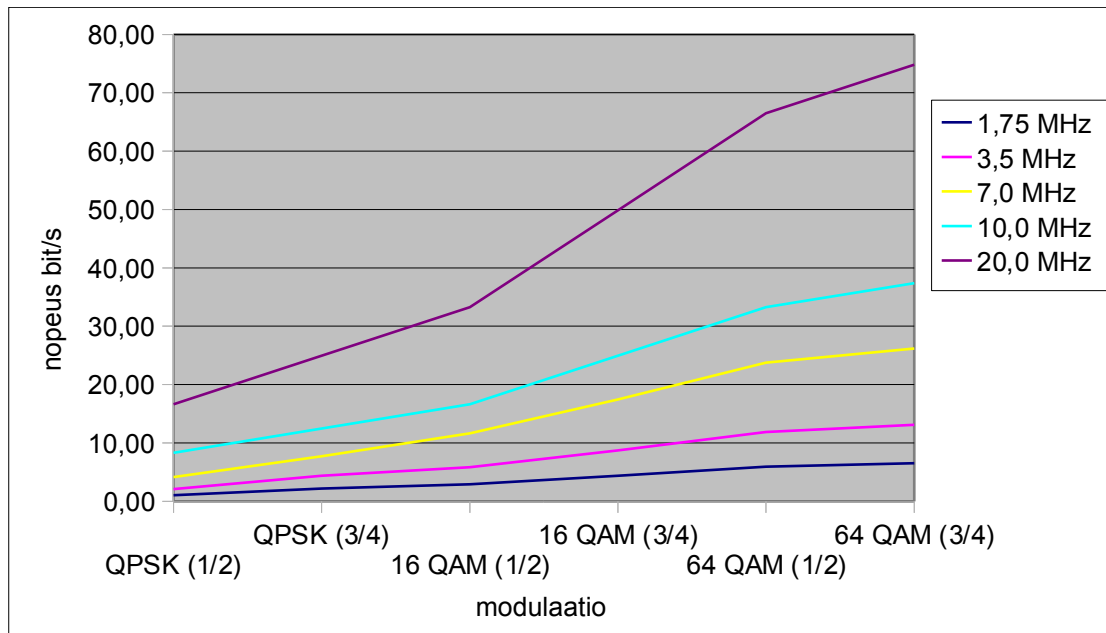
Radioaallot ovat sähkömagneettista värähtelyä. Sinaaallon muotoiseen kantaaltoon pystytään sisällyttämään informaatiota erilaisten modulaatioiden avulla. Yleisesti voidaan ajatella, että alhaisella taajuudella saadaan suurempi kantomatka, mutta informaatiota pystytään siirtämään vähemmän. Alemmat

taajuusalueet ovat myös pidemmälle kantavia toisin kuin korkeat. Modulaatio on kantoaallon muokkausta siten, että signaaliin saadaan mukaan informaatiota, jota voidaan tulkita.

Kehittyneemmillä modulaatioilla saadaan yhteen symboliin tai aikayksikköön enemmän informaatiota kuin alkeellisiin. Kaikkein yksinkertaisemmissa modulaatioissa muokataan esimerkiksi vain kantoaallon amplituutiota eli vahvistusta. Tätä kutsutaan AM (*Amplitude Modulation*)- tai ASK (*Amplitude Shift Keying*) -modulaatioksi. Kantoaallon taajuutta voidaan myös muokata, ja sitä kutsutaan FM (*Frequency Modulation*)- tai FSK (*Frequency Shift Keying*) -modulaatioksi.

Kehittyneempi tekniikka on vaihe-eromodulaatiota, PSK (*Phase Shift Keying*). Vaihe-eromodulaatiolla muokataan vaihe-eroja, ja yksinkertaisin näistä on vain kahteen vaiheeseen perustuva modulaatio: 0 astetta ja 180 astetta. QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*) -modulaatiossa on lisäksi kaksi muuta vaihetta, 90 ja 270. QPSK-modulaatiolla voidaan esittää neljällä eri vaihe-erolla neljä eli merkitystä.

Nykyaikana on välttämätöntä, että pystytään siirtämään mahdollisimman paljon informaatiota yhdessä aikajaksossa. Tästä syystä on kehitetty modulaatio, jossa yhdistetään amplitudi eli vahvistus- ja vaihe-eromodulaatiot. Modulaatiota kutsutaan nimellä QAM (*Quadrature Amplitude Modulation*). Modulaatio voi olla myös ”toisen” asteen, jolloin sillä voidaan esittää 64 eri symbolia. Perus-QAM pystyy esittämään 4 bitin tarkkuudella symbolin. Kuten saattaa päätellä, monimutkaisempi modulaatio vaikuttaa saavutettavaan etäisyyteen. Yksinkertaisempi modulaatio mahdollistaa suuremmat etäisyydet, koska se ei ole niin herkkä signaalitien häiriöille. [7.] Kuvassa 3 esitetään modulaatioiden vaikutusta siirtonopeuteen.



Kuva 3. Modulaation vaikutus tiedonsiirtonopeuteen [21.]

OFDM-modulointi

Orthogonal Frequency Division Multiplexing eli DMT-modulointi (Discrete Multitone), suomeksi kohtisuora taajuusjakoinen multipleksointi, perustuu tiedonsiirtoon lukuisilla toisiaan häiritsemättömillä taajuuskanavilla yhtä aikaa [6]. Viime aikoina on huomattu, että OFDM-tekniikka on erinomainen suuren nopeuden omaavalle kaksisuuntaiselle tiedonkululle. Tekniikan historia ja alkuperä ovat peräisin jo 1960-luvulta. OFDM yhdistää tehokkaasti useita moduloituja kantoaaltoja yhteen, ja tämän avulla saadaan tarvittavaa kaistanleveyttä pienennettyä. Samaista tekniikkaa käytetään jo esimerkiksi ADSL- ja WIFI-tekniikoissa. Tekniikka perustuu taajuusjakoiseen multipleksointiin (FDM), joka käyttää useita taajuuksia rinnakkain. Jokaisella kanavalla on oma alitaajuus, joka on erillään muista kanavista. OFDM on samalla periaatteella toimiva, mutta alitaajuudet ovat osittain päällekkäin, jolloin samaan taajuuskaistaan saadaan huomattavasti enemmän informaatiota. Lisäksi FDM-tekniikassa olevia suojataajuuksia "Guard Band" ei ole OFDM-tekniikassa. Tämä myös lisää taajuuskaistan tehokasta käyttöä. [7.]

Jokainen kanava voi käyttää joko PSK- tai QAM-modulaatiota. Tämän lisäksi on OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing Access*), jossa jokainen alikanava voidaan määritellä yksittäin tai useamman kokonaisuudessa käyttäjälle. Esimerkiksi yleisin kehysrakenne on OFDMA 256, jossa on 192 data-alikanavaa, 8 pilottikanavaa ja 56 null-kanavaa. Kantoaalloista esimerkiksi 1, 3 ja 7 voidaan määritellä käyttäjälle A. Tämä kantoaaltonippu tunnetaan nimellä alikanava. 802.16-2004-määritelmässä julkaistiin myös skaalautuva OFDMA. Tässä tekniikassa pystytään muuttamaan FFT-paketin kokoa 2048:sta aina 128:aan asti. Tämä parantaa taajuuskaistan käyttöä 1,25–20 MHz:n kaistoilla. OFDM-modulaatio on hyvä valinta, koska monitie-etenemisen aiheuttamat ongelmat ovat vähäisiä. Tämä on etu nimenomaan mobiililaitteita käytettäessä, koska usein laitteita käytetään paikoissa, joissa monitie-eteneminen on ongelma. OFDM-tekniikkaa pidetään myös vartenotettavana kilpailijana, kun tutkitaan tulevaisuuden näkymiä neljännen sukupolven järjestelmille. [7.]

2.6 Rinnakkaistekniikat

Rinnakkaistekniikoilla tarkoitetaan tässä yhteydessä tekniikoita ja standardeja, jotka pyrkivät pääsemään samaan lopputulokseen eli saamaan nopean tiedonsiirron luotettavasti käytettävissä olevilla vapailla taajuusalueilla. UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) on suurelta osin Euroopassa kehitetty järjestelmä. UMTS kuuluu niin kutsuttuun 3G (3th generation) -määritelmään, jolla pyritään määrittämään kolmannen sukupolven matkapuhelinjärjestelmiä nopeilla datayhteyksillä. Toinen vartenotettava kilpailija on HSDPA (*High-Speed Downlink Packet Access*). Tekniikka mahdollistaa jopa 8–10 Mbit/s -siirtonopeuksia, ja se mahdollistaa myös MIMO (*Multiple-Input Multiple output*) -järjestelmien käytön, jolla useat päätelaitteet voidaan yhdistää yhdeksi siirtotieksi, jonka huippunopeus voi olla jopa 20 Mbit/s. BWA (*Broad Band Wireless Access*) sisältää teknologiaa, joka mahdollistaa langattomissa verkoissa nopeaa datansiirtoa vähintään 1,5 Mbit/s -nopeudella. BWA kuuluu 802.16-standardin määritelmiin.

Käytetyimmät tekniikat ovat LMDA (*Local Multipoint Service*) ja MMDS (*Multipoint channel Distribution service*). Nämä muunnokset ovat muutamissa maissa käytössä. WiMAXin etuna on määritelty standardi. Se mahdollistaa laitteistovalmistajapuolella paremman yhteensopivuuden ja päätelaittevalmistajille edullisemmat kustannukset ja suuremmat tuotantoerät. Euroopassa kilpailevana tekniikkana on myös HIPERMAN (*High Performance Radio Metropolitan Area Network*). Tekniikan on luonut ja määritellyt ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). Tekniikka toimii hyvin samankaltaisesti kuin WiMAX 2–11 GHz:n taajuuksilla. WiMAX Forum pyrkii voimakkaasti kehittämään 802.16-standardia siten, että tulevaisuudessa nämä tekniikat toimivat saumattomasti yhteen. Korean tietoliikenneteollisuus on tämän lisäksi kehittänyt vastineensa WiMAXille ja muille BWA-variaatioille. WiBro käyttää 100 MHz:n kaistanleveyttä 2,4 GHz:n taajuudella. Vuonna 2004 Intel ja LG Industries ilmoittivat, että ne sisällyttävät WiBro-yhteensopivuuden WiMAX-päätelaitteisiin. [8.] Taulukossa 2 esitetään eri tekniikoiden eroja verrattuna WiMAXiin ja sen eri kehitysvaiheisiin.

Taulukko 1. Eri tekniikoiden taajudet ja standardin tila [8]

	WiFi 802.11g	WiMAX 802.16-2004	WiMAX 802.16e	CDMA2000 EV-DO	1x WCDMA / UMTS
Tyypillinen taajuus	2.4 GHz	2-11 GHz	2-6 GHz	400,800,900, 1700, 1800, 1900, 2100 MHz	1800, 1900, 2100 MHz
Saatavuus	Nyt	Standardi hyväksytty heinäkuussa 2004	Standardi hyväksytty joulukuussa 2005	Nyt	Nyt
Sovellus	WLAN	Kiinteä langaton yhteys	Langaton, mobiiliteetti	Langaton mobiililaajakaista	Langaton mobiililaajakaista

2.7 WiMAX-laitteet

Jotta WiMAX-tekniikan laitteet olisivat yhteensopivia, WiMAX Forum tarkistaa laitteiden toiminnallisuuden, minkä jälkeen hyväksytyt laitteet saavat WiMAX-sertifikaatin. Tarkastamisella tarkoitetaan laitteen tarkkaa tutkimusta ja vertailua, onko se yhteensopiva standardin mukaisesti. Laitteen tutkimuksesta peritään maksu, minkä jälkeen hyväksytty laite saa oikeuden käyttää WiMAX-logoa (kuva 5), ja näin yhteensopivuus on taattu muiden valmistajien laitteiden kanssa.



Kuva 4. WiMAX-logo.

Testi ja sertifiointi suoritetaan Espanjan Malagassa, jossa sijaitsee Cetecom, joka on WiMAX Forum™ Designated Certification Laboratory (WFDCL) [9].

eli WiMAX Forumin hyväksymä yhteistyökumppani. Testaus suoritetaan uudelle laitteelle tai tarvittaessa myös jo hyväksytylle tuotteelle, jonka valmistusprosessi tai ohjelmisto muuttuu siten, että on mahdollista olettaa, että toiminnallisuudessa on muutoksia, jotka voivat olla ristiriidassa standardin kanssa.

WiMAX Forumin tavoite on saada mahdollisimmat monet laitevalmistajat hyväksytyiksi. Tämä takaa laitteen toiminnan erilaisissa kokoonpanoissa laitevalmistajasta riippumatta. Samoin testauksella tuetaan yritysten toimintaa ja tekniikan yleistymistä. Tämän dokumentin kirjoitushetkellä WiMAX Forumin www-sivuilta löytyi sertifikaatin saaneita laitteita ja valmistajia taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 2. Sertifikaatin saaneet laitteet 2006 [9].

Valmistajia	Tuotteita yhteensä	Tukiasemia	asiakaspäätteitä
11	25	11	14

Kyseessä on melko vähäiset luvut vielä toistaiseksi, mutta sertifikaatin saaneiden valmistajien määrän odotetaan kasvavan voimakkaasti. Esimerkiksi Intel on ilmoittanut yhdistävänsä WiMAX-tekniikan kaikkiin tuleviin matkatietokoneen emolevyihin. Intel panostaa muullakin tavalla WiMAX-tekniikkaan ja on esimerkiksi heinäkuussa 2006 ostanut WiMAX-operaattori Clearwiren 600 miljoonalla dollarilla. Yritys tarjoaa langattomia nettiyhteyksiä 26 kaupungissa Amerikan mantereella ja Euroopassa. Kansainvälisesti asiakkaita on noin 65 000, ja yrityksen verkko kattaa lähes 5 miljoonaa asiakasta. Lisäksi Intel omistaa saksalaisen mobiiliverkko-yhtiö dBD Deutsche Breitband Dienst. Nokia on myös solminut Intelin kanssa yhteistyösopimuksen, jonka avulla ne yhdistävät ja kehittävät langattomia verkkoja. Tekniikan ympärillä on suuria yrityksiä, jotka uskaltavat investoida uuteen ja lupaavaan tekniikkaan. Luotto perustuu vahvaan standardiin ja konkreettiseen tarpeeseen luoda toimiva monikansallinen langaton ratkaisu, joka täyttää WLAN-järjestelmän ja matkapuhelinverkon välisen alueen.

Suomessa WiMAX-laitteiden suurin toimittaja on Daimler Finland. Yritys tuo maahan Alvarion BreezeMAX-sarjaa, joka on jo onnistuneesti asennettu useaan paikkaan Suomessa. Yritys kertoo asentaneensa laitteet esimerkiksi Ylivieskan, Ylä-Pirkanmaan, Etelä-Savon, Hailuodon ja Kajaanin kuntiin. Kaikissa kunnissa yhteiseksi tekijäksi ilmenee juuri niin kutsuttu last mile -ongelma. [10.]

Alvarion BreezeMAX

Alvarion BreezeMAX toimii tässä insinööriyössä esimerkkilaitteena. Laitteella on edustus Suomessa, ja se on jo asennettu moneen kohteeseen. Kyseessä on WiMAX Forumin virallisen yhteistyökumppanin sertifioima laite, joten sen voi olettaa olevan standardin mukainen.

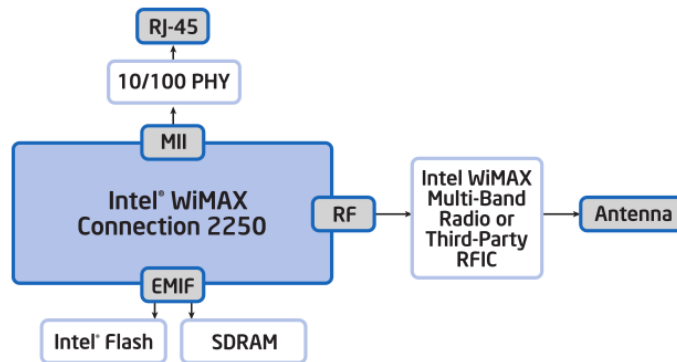
Alvarion ilmoittaa itse, että se on suurin BWA-toimittaja tällä hetkellä. Asennettuja laitteita on jo maailmanlaajuisesti yli 2 miljoonaa 130 maassa. Lisäksi ne toimivat Alcatelin, Lucentin, Siemensin ja Neran OEM, eli alihankkijajakelijana. [11.]

Intel PRO/Wireless 5116 -piiri

Suuri osa WiMAX-laitteista käyttää Intelin referenssiipiiriä ”Intel PRO/Wireless 5116”. Se on integroitu piiri, joka täyttää IEEE 802.16-2004 -standardin vaatimukset. Rakenteeltaan se on ohjelmoitava piiri, jonka mukana ei toimiteta oheistekniikkaa. Valmistajan harteilla on siis virransyötön ja antennijärjestelmän rakennus sekä piirin ohjelmoiminen. Piirisarjalle on saatavilla SDK (Software Development Kit) -ohjelmisto, jonka avulla valmistaja pystyy vaikuttamaan piirin toiminnallisuuteen. Piiri perustuu tehokkaaseen OFDM-modeemiin ja on toteutettu kaksiytimisellä ARM-prosessorilla.

Huomioitavaa on, että piirin luvataan toimivan -40 ja +85 celsiusasteen välillä. Suuri toiminta-alue takaa piirin käytön hyvinkin monessa sääolosuhteessa. [12.]

Kuten kuvasta 6 selviää, laitevalmistajan tehtäväksi jää helposti toteutettavien komponenttien integroiminen itse piiriin. Tämä edesauttaa uusien valmistajien ilmaantumista markkinoille



Kuva 5. IEEE 802.16-2004 -standardin mukainen WiMAX-piirimalli [13] .

Liitäntärajapinnat ovat, kuten kuvasta näkyy, RJ45 ja RJ11. Laitevalmistajan on myös mahdollista ohjelmoida MAC- ja omia ohjelmistoja piiriin sisälle. Esimerkiksi maksullisen verkon autentikointipalvelu voidaan luoda valmiiksi laitteeseen sisään. Sisäänrakennettu 10/100 MAC, sisäinen suojaus ja TDM (Time Division Multiplexing) -ohjain mahdollistavat IP-pohjaisien ohjelmistojen ja yleisten puhetoimintojen käytön, ilman että laitteistovalmistajan tarvitsee niitä uudelleen ohjelmoida.

2.8 Roaming-yhteys

Roaming-sanalla tarkoitetaan yhteydellistä yhteyttä, joka mahdollistaa siirtymisen tukiasemasta toiseen yhteyden katkeamatta. Alkuperäisessä standardissa ei määritelyä kuin LOS- eli Line Of Sight -yhteys. 802.16a-laajennus lisäsi standardiin alemman taajuusalueen 2–11 GHz. Viimeisimmässä 802.16e-määritelmässä on myös tullut mahdolliseksi roaming-toiminto, eli asiakaspäätelaitteen siirtyminen tukiasemasta toiseen yhteyden katkeamatta. Lisäys oli tarpeellinen, koska suuren tiedonsiirtonopeuden omaavan tukiaseman kantama ei ole suuri. On kuitenkin oletettavaa, että tulevaisuudessa

mobiililaitteet lisääntyvät voimakkaasti ja samalla vaativat nopean tiedonsiirtoyhteyden. Tänä päivänä voidaan esimerkiksi kannettava tietokone siirtää WLAN-verkossa yrityksen sisällä hot spotista toiseen. Ongelma muodostuu esimerkiksi autoon siirryttäessä. Standardi toimii tarvittaessa niin kutsutulla ”best connected” -menetelmällä. Tällä menetelmällä edellä mainitussa tilanteessa päätelaite osaa automaattisesti siirtyä 802.11-verkosta suoraan yhteyden katkeamatta 802.16-verkkoon eli WiMAXiin. Standardi määrittelee myös niin kutsutun mesh-rakenteen, jossa tukiasemat yhdistyvät toisiinsa tarvittaessa yhteyden toiminnallisuuden takaamiseksi. Toiminto vastaa pitkälti GSM-verkon rakennetta tässä suhteessa. Roaming-toiminto mahdollistaa siis sen, että päätelaite on alun perin yrityksen WLAN-hot spotissa, minkä jälkeen se automaattisesti siirtyy 802.16-verkkoon, kun poistutaan WLAN-verkon kantoalueelta. Jos päätelaitteen yhteys WiMAX-tukiasemaan heikkenee, tukiasema voi automaattisesti siirtää yhteyden toiselle tukiasemalle, jolla on parempi kuuluvuus päätelaitteelle. Lisäksi tuki on myös matkapuhelinverkoille, mikäli WiMAX-verkon kantama loppuu eli siirrytään WAN-alueelle. Liitteen 1 kuva selkeyttää rakennetta.

Vaikka roaming on hyvin tuettu, on otettava huomioon, että tiedonsiirtonopeus laskee, kun siirrytään kauemmaksi tukiasemasta. Lisäksi WiMAX-yhteyttä voidaan muokata sen mukaan, kuinka kaukana tukiasemasta ollaan. Modulaatiota muuttamalla ja nopeutta laskemalla WiMAX-kantoaluetta voidaan helposti kasvattaa.

Suurimmaksi ongelmaksi roaming-toiminnossa muodostuu se, että se on tuettu vasta 802.16e-standardissa, jonka ensimmäinen versio on julkaistu helmikuussa 2006. Intel on ilmoittanut, että sen uusi langaton piiri sisältää tuen sekä 802.16-2004- että 802.16e-standardeille, mikä mahdollistaa roaming-toiminnon. Piiri tunnetaan nimellä Rosedale 2. Se on valmistettu samalla koteloinnilla (PBGA) ja nastajärjestyksellä sekä piikkimäärällä (360 piikkiä) kuin aikaisempi versio piiristä. Piiri on yhteensopiva vanhan kanssa, joten valmistajien on edullista päivittää tuotteensa uutta piiriä käyttäväksi. [14.]

Roaming-toiminnosta tekee mielenkiintoisen se, että Intel on ilmoittanut tulevaisuudessa integroivansa matkatietokoneiden emolevysarjaan piirin, joka tukee sekä WLAN- että WiMAX/WiBro-verkkoja. Tulevaisuudessa on siis oletettavaa, että lähes jokaisesta tietokoneesta löytyy tekniikkaa, jolla kone voi olla yhteydessä joko LAN- tai MAN-alueella. [12.]

2.9 Parannukset 802.16e-standardissa

Päivitetty standardi 802.16e parantaa myös WiMAXin muita ominaisuuksia. Roaming-toiminnon lisäksi mobiliteettiä on parannettu siten, että asiakaspäätelaitteet toimivat jopa 120 km/h -nopeudella tukiasemaan nähden. Ominaisuus on tärkeä esimerkiksi autossa oleville tietoliikenneyhteyksille. Lisäksi virransäästö- ja lepotilaominaisuudet ovat tulleet mukaan. Tämä parantaa suoraan kannettavien laitteiden akunkestoa. Lisäksi myös sisätilojen kuuluvuuteen on saatu parannuksia paremman alikanavoinnin ja AAS-toiminnon (Adaptive Antenna System) avulla. Kaistanjakotekniikkaa on myös parannettu. Tämä edesauttaa tehokasta kaistan käyttöä ja esimerkiksi kaistan jakoa laitteille, jotka sitä tarvitsevat. Huomioitavaa on myös, että Suomessa käytössä olevalla taajuusalueella ei Ficoran mukaan sallita puhdasta mobiliteettiä. Ficora tutkii mahdollisuutta sallia mobiliteetti kyseisellä taajuusalueella. [15.]

3 Antennit

3.1 Antenniratkaisut

Tässä työssä pohditaan antennitekniikkaa sikäli, kuin katson tarpeelliseksi työn aihealueeseen ja tarpeeseen nähden. Koska työ tehdään yritykselle, jonka tarkoitus on ottaa mahdollisesti käyttöön WiMAX-tekniikka laajalla alueella, myös antenniteoriasta on hyötyä.

Yksinkertaisimmillaan yritys voi ostaa erilaisia antenniratkaisuja ja kokeilla erilaisia vaihtoehtoja, mutta näin toimittaessa joudutaan helposti kalliisiin ja monimutkaisiin ratkaisuihin.

Sisätiloissa voidaan rakennuksen pohjapiirroksien perusteella jo tehdä alustavia tutkimuksia antennien sijoittamisesta. Hyvin helposti yksinkertaisilla laskuilla voidaan luoda avonaisiin tiloihin ”peittoaluekarttoja”. Ongelmaksi sisätiloissa muodostuu usein materiaalien monipuolisuus ja monimutkainen geometria. Tähän ongelmaan voidaan pureutua käytännön mittauksilla, joissa voidaan esimerkiksi kiinteistössä yleisesti käytetyistä rakennusmateriaaleista luoda profiilit, joiden avulla voidaan ennustaa radioverkon toiminnallisuutta tietyllä alueella rakennuksen sisällä. Osa tiloista voi olla paras ratkaisu isotrooppinen säteilijä, mutta toisaalla voi toimia ainoastaan kapeiden suuntakuvioiden omaavien antennien hajasijoittelu. [16.]

3.2 Antennin mitoittaminen WiMAX-järjestelmälle

Antenni on metallinen osa, jonka tehtävänä on edesauttaa tuotetun radiomagneettisen värähtelyn lähettämistä ja vastaanottoa. Perustyypeiltään antennejä on kahdenlaisia: isotrooppiset eli pallomaisesti joka suuntaan säteilevät sekä suunnatut ja vahvistuksen omaavat antennit. Pallomaisesti säteilevän antennin voidaan ajatella olevan kuin aurinko, eli yhdestä pisteestä lähtee optimaalisissa olosuhteissa homogeeninen säteily joka suuntaan. Suuntaavissa ja vahvistavissa antennissa taas antennin fyysinen rakenne määrittää säteilykuvion. Isotrooppinen antenni on teoreettinen malli, jota ei

pystytä toteuttamaan käytännön elämässä. Tästä johtuen tätä antennityyppiä pidetään usein vertailuarvona. Peruseriaatteena antennissa on, että antennin fyysisen pituuden on oltava vähintään neljäsosa lähetettävän tai vastaanotettavan taajuuden aallonpituudesta. [16.]

Koska aallonpituus on suoraan taajuuden kanssa korrelaatiossa, se on helppo laskea kaavalla 1, jossa λ on aallonpituus, c valonnopeus ja f taajuus.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{2,99792 * 10^8 \text{ [km/s]}}{f \text{ [s}^{-1}\text{]}} \quad (1)$$

Kaavan käytännöllisempi muoto WiMAX-laitteiden kanssa on suoraan MHz:lla jaollinen:

$$\lambda \text{ [m]} = \frac{c}{f} \approx \frac{300}{f \text{ [MHz]}} \quad (2)$$

Kaavan 3 perusteella saadaan selville, että esimerkiksi Suomessa käytettävän taajuusalueen (3410–3590 MHz) mukaan antennin pitää olla seuraavan välin sisällä, jotta ehto toteutuu:

$$\frac{1}{4}(\lambda_a) \text{ [m]} = \frac{300}{3410 \text{ MHz}} \approx 0,022 \text{ m} \approx 2,2 \text{ cm} \quad (3)$$

$$\frac{1}{4}(\lambda_y) \text{ [m]} = \frac{300}{3590 \text{ MHz}} \approx 0,021 \text{ m} \approx 2,1 \text{ cm} \quad (4)$$

Kuten voi havaita, kyseisellä taajuusalueella ei korkean taajuuden vuoksi antennin koolla ole juurikaan eroa taajuusalueen ylä- tai alapäässä. Tästä on etua esimerkiksi valmistajalle, koska samalla antennilla voidaan hoitaa koko taajuusalue. Neljäsosataajuuden sääntö ei ota kantaa siitä yli menevään

pituuteen, ja seuraava merkittävä muutos tulee vastaan, kun lähestytään $\frac{\lambda}{2}$ eli aallon puolikasta. WiMAX-verkkoon soveltuvia antenneja myyvät jo useat jälleenmyyjät. Huomioitavaa on perustietämyksen lisäksi käyttötarkoitus. Esimerkiksi ympärisäteilevä antenni voi olla hyvä ratkaisu yhtenäiseen tilaan, jossa halutut käyttäjät ovat lähettimen ympärillä. Toisaalta suuntaavalla antennilla on helpompi suunnata ongelmakohtiin. Ympärisäteilevässä antennissa signaalin vaimeneminen ja lopullinen intensiteetti toteuttavat pallon pinta-alan kasvua suhteessa etäisyyteen. Muutamien helppojen kaavojen avulla pystytään kohtuullisella tarkkuudella tutkimaan sitä, miten pitkälle yhdellä lähettimellä päästään siirtonopeuden suhteen. Kaavassa 5 P esittää antennin sähkömagneettista keskimääräistä intensiteettiä.

$$P[R] = \frac{P}{4\pi R^2} \quad (5)$$

Koska yleensä radiotekniikassa puhutaan vaimennuksesta dB-yksiköllä, se on hyvä esitellä tässä samassa:

$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{mitta}}{\text{vertailu}} \right) \quad (6)$$

Koska yleensä vertaillaan ympärisäteilevään eli isotrooppisen antenniin, vertailukohtana käytetään yksikköä dBi, jossa i tarkoittaa yhteyttä isotrooppiseen vertailuun. Toisin sanoen mikäli antennille ilmoitetaan suuntakuviioon 25 dBi:n vahvistus, se tarkoittaa eroa isotrooppiseen säteilyyn. Tässä kohtaa on mainittava, että dBi-yksikkö on suhdeluku teoreettiseen isotrooppisen säteilijään. Todellisuutta paremmin kuvaava yksikkö on dBd eli suhde dipolisäteilijään.

Isotrooppisen ja dipolisäteilijän vahvistuseroin ero on noin 2,14 dB. Ammattikirjallisuudessa ja laitteiden markkinointimateriaaleissa käytetään yleisesti vertailua isotrooppiseen säteilijään. Tämä johtuu siitä, että dBi-arvoon

verrattaessa luvut saadaan näyttämään hieman suuremmilta.

Erittäin tärkeänä on syytä pitää kantavaimennusta. Tämä termi on tärkeä etenkin tietoliikenneyhteyksissä ja nimenomaan Point-To-Point- eli tukiasemayhteyksissä. Tässä voidaan käyttää hyväksi dB:n yksiköttömyyttä, ja sen avulla on helppo laskea yhteyden tarvitsemia tietoja. Kantavaimennusta kuvataan kaavalla 7 ja yksikkönä käytetään desibeliä.

$$L_r = 20 \log_{10} \frac{\lambda}{4\pi r} \text{ dB} \quad (7)$$

λ on aallonpituus

Esimerkiksi tilanne, jossa on kaksi tukiasemaa 10 km:n päässä toisistaan: Käytettävä aallonpituus on 3410 MHz, molempien antennien vahvistus on +16 dB ja lähetykseen käytetään 100 mW:n tehoa. Oletetaan antennien olevan samanlaisia ja sijoitettu polarisaation suhteen samoin. Kaapeleiden vaimennusta ei oteta huomioon.

Tehotaso

$$L_p = 10 * \log_{10} \frac{P}{1 * 10^{-3}W} = \text{dBm} = 10 * \log_{10} \frac{0,1W}{0,001W} = 20\text{dBm} \quad (8)$$

Kantavaimennus L_r

$$L_r = 20 \log_{10} \frac{300/3410\text{MHz}}{4\pi 10000m} \text{ dB} = -123,097\text{dB} \approx -123\text{dB} \quad (9)$$

Vastaanottotaso

$$L_p = 20 \text{ dBm} + 16\text{dB} + 16\text{dB} - 123\text{dB} = -71\text{dB} \quad (10)$$

Näiden tietojen perusteella voidaan luoda työkalu, jonka avulla olisi helppo arvioida signaaliin vahvuus eri paikoissa. Kuvaavaksi luvuksi ilmoitetaan SOM (System Operating Marginal), joka kuvaa erotusta pienimmän vastaanotettavan

signaalin ja laskennallisen lähetystehon välillä. Esimerkitapauksessa laitteelle oli ilmoitettu minimitasoksi -82 dBm. SOM-tasoksi saadaan:

$$SOM = Rx - Rx \text{ herkkyyys} = -71dBm - (-82dBm) = 11dBm \quad (11)$$

Hyväksyttävä taso on noin +20 dB, joten tässä tapauksessa yhteys ei tule toimimaan luotettavasti.

3.3 Toimivan linkin suunnittelu

Kuten luvun 4.1 laskelmista selviää, mikroaaltolinkin asentaminen ei ole pelkästään kahden antennin pystyttämistä. Perusteellinen suunnittelu ja laskelmat etukäteen kertovat hyvin suurella todennäköisyydellä linkin toimivuuden. SOM-laskelmassa käytettävät kaavat ovat varsin yksinkertaisia käyttää. Sisätiloissa laskemisen tekee ongelmalliseksi yleensä seinien paljous ja siitä johtuvat erot vaimennuksessa. On myös suositeltavaa tehdä sisätiloissa mittauksia, joiden avulla saadaan selville kiinteistön sisärakenteiden vaikutus signaalin etenemiseen. Kevyidenkin seinärakenteiden sisäiset raudoitukset tai kosteussulut voivat vaimentaa huomattavasti enemmän kuin paksu betoniseinä. [17.]

4 WiMAXin erot 3G- WLAN- ja 450 MHz:n tekniikoihin

4.1 Matkapuhelinverkot

Koska tässä työssä pyritään selvittämään WiMAX-tekniikan etuja ja sen suomia mahdollisuuksia, WiMAX-tekniikkaa on myös verrattava jo olemassa oleviin järjestelmiin ja tekniikoihin. Periaatteessa WiMAX, 3G-matkapuhelinjärjestelmät ja WLAN eli 802.11 mahdollistavat vastaavia toimintoja. Kilpailijoina keskenään voidaan ennemminkin pitää 802.16- ja 802.11-järjestelmiä niiden mahdollistaman tiedonsiirtonopeuden takia. GSM-verkossa tiedonsiirto hoituu suurimmalta osin niin kutsutuilla 2,5G-järjestelmillä (G kirjain on lyhenne englanninkielisestä generation-sanasta), kuten GPRS ja EDGE. Niitä ei voida todellisuudessa pitää puhtaiden 3G-järjestelmien, kuten UMTS (W-CDMA2000), CDMA2000 ja FOMA, kilpailijoina. Yleisesti nopean tiedonsiirron rajana pidetään noin 1 Mbit/s -nopeutta.

Taulukko 3. Eri langattomien tekniikoiden oleelliset erot [8].

	WiFi 802.11g	WiMAX 802.16-2004	WiMAX 802.16e	CDMA2000 1xEV-DO	WCDMA/ UMTS
Maksimi etäisyys	100 metriä	8 Km	5 Km	12 Km	12 Km
Maksimi nopeus	54 Mbps	75 Mbps	30 Mbps	2.4 Mbps	2 Mbps
2,5G-järjestelmät	EDGE	GPRS	HSCSD		
Maksimi etäisyys	GSM- verkko	GSM-verkko	GSM- verkko		
Maksimi nopeus	236,8 kbs	160 Kbs	43,2 kbs		

WiMAX-verkoissa nopeuden oletetaan kasvavan aina 15 Mbit/s asti. Solujen koko voi olla jopa viisi kilometriä, joten erot vanhoihin tekniikoihin ovat selkeät. W-CDMA-tekniikassa MAN-tyyppisen solun nopeudeksi on kaavailtu noin 384 kbps. [18.]

4.2 Mediastreamaus

Tässä työssä yhtenä osana on tutkia, miten WiMAX soveltuu langattomaan median jakoon. Jotta asiaa voidaan tutkia, on ensin syytä tuoda esille, mitä vaatimuksia video- tai äänistreamaus asettaa. Tässä työssä ei ole tarkoitus perehtyä videostreamaustekniikoihin. Aihealueesta on monia vastaavia töitä, joissa perehdytään syvällisesti mediastreamaukseen vaatimuksiin ja tekniikoihin.

4.3 Video

Videokuva on dataa, jossa kulkee kuvasta pakattua tietoa. Puhdasta pakkaamatonta kuvaa ei käytännön syistä voida lähettää. Nykyään on useita eri pakkausmenetelmiä, mutta peruseriaatteeltaan kaikki ovat niin kutsuttuja häviöllisiä pakkauksia (lossy). Kuvasta poistetaan informaatiota, eikä sitä voida palauttaa alkuperäiseen muotoon. Videonsiirrossa siirron laatuun vaikuttaa oleellisesti kolme asiaa, siirtotien nopeus ja laatu sekä käytetty pakkaustapa. Lähetteen kokoon vaikuttaa käytetty pakkaus ja sen asetukset sekä itse videon fyysinen koko eli resoluutio. Pieni resoluutio toimii mainiosti esimerkiksi matkapuhelimessa tai kämmenmikrossa, mutta suurella matkatietokoneen näytöllä kuva on huono. Käytettävä videolaatu on siis määriteltävä etukäteen. Tukiasemien lähellä voitaisiin helposti käyttää hyvää laatua, mutta ongelmaksi muodostuu esimerkiksi tukiaseman vaihto ja tätä kautta muuttunut tiedonsiirtonopeus. [18.]

4.4 QoS eli palvelun laatu

Tärkeimpänä 802.16-standardissa median streamaukseen liittyen määritellään niin kutsuttu QoS (Quality Of Service) eli palvelun laatu. Sillä voidaan määrittää haluttu yhteyden laatu. Palveluluokat voidaan jakaa muutamaaan pääluokkaan.

Standardi määrittelee seuraavat palveluluokat:

- UGS (Unsolicited Grant Services)
Suunniteltu yhteyksille, jotka tarvitsevat kiinteän kokoisia datapaketteja toistuvasti. Tyypillisesti CBR (Constant Bit Rate). Soveltuu myös ATM-liikenteeseen ja T1/E1-jäljittelyä.
- rtPS (Real-Time Services)
Reaaliaikainen palveluluokka, jossa siirretään vaihtelevia datapaketteja tasaisin väliajoin.
- nrtPS (Non-Real-Time Services)
Ei-reaaliaikainen palveluluokka, jossa siirretään vaihtelevan-kokoisia datapaketteja vaihtelevasti.
- BE (Best Effort)
Palveluluokka, joka muistuttaa IP-verkkoa. Ei vaadita täydellistä luotettavuutta, ja datapaketteja saattaa hävitä matkalla. [18.]

QoS-palvelutasot on määritelty ITU:n (International Telecommunication Union) dokumentissa. Dokumentissa on esimerkiksi liikkuvalla kuvalla määritelty bittivirta.

Taulukko 4. Palvelutason määritelmät ITU [18].

Media	Sovellus	Tyypillinen nopeus	Viive	Viiveen huojunta	Informaatiohävikki
Audio	ääni	4-64 kbit/s	<150 ms suositeltu <400 ms raja	< 1 ms	< 3% packet loss ratio (PLR)
Audio	ääniviestintä	4-32 kbit/s	< 1 s toistolle < 2 s nauhoitus	< 1 ms	< 3% PLR
Audio	korkealaatuinen audio	16-128 kbit/s	< 10 s	<< 1 ms	<1% PLR
Video	videopuhelu	16-384 kbit/s	<150 ms suositeltu <400 ms raja		<1% PLR
Video	stream	16-384 kbit/s	< 10 s		<1% PLR

Pienillä, alle 3 kilometrin soluilla, WiMAX-järjestelmässä tiedonsiirtonopeus ei tule ongelmaksi. Esimerkiksi rakennetaan solu, jossa käytetään modulaationa QAM64:ää ja 7 MHz:n modulaationopeutta. Tällä päästään teoreettiseen 23,75 Mbps -nopeuteen. Mikäli dedikoidaan pelkästään esimerkiksi videokuvan siirtoon, hyvälaatuisen kuvan bittinopeudelle (384 kbps), voidaan teoreettisesti yhtä aikaa ylläpitää liikkuvan kuvan virtaa 61 päätelaitteeseen. [18.]

4.5 450 MHz:n Flash-OFDM-tekniikka

Eräs mielenkiintoinen uusi kilpaileva tekniikka WiMAXin kanssa on myös syytä esitellä tässä työssä: 450 MHz:n alueella Flash-OFDM-tekniikalla toimiva langaton verkko. Kyseessä on taajuusalue, joka on aikanaan ollut analogisen NMT-verkon käytössä. Virallisesti NMT-verkko lopetettiin vuonna 2002, mutta todellisuudessa NMT-tekniikan kaupallinen merkitys oli kadonnut jo aikaisemmin GSM-tekniikan yleistyttyä. NMT-nimi tulee sanoista Nordic Mobile Telephone. Verkko oli ensimmäinen täysin automaattinen matkapuhelinverkko, joka tuki myös roaming-toimintoa. Taajuusalue on jäänyt siis vapaaksi, ja siihen on haluttu kehittää uusi digitaalinen järjestelmä.

Vahvuus 450 MHz:n taajuudessa verrattuna WiMAXin 3,4 GHz:n taajuuteen on pidempi kantomatka. Kuten aikaisemmin esitettiin, taajuus on verrannollinen kantoaallon vaimentumaan etäisyyden mukaan. Tämä on herättänyt mielenkiinnon käyttää taajuutta langattomaan verkkoon alueilla, joilla tukiasemien ja asiakaspäätelaitteiden etäisyydet ovat suuria. Esimerkkinä ovat saaristo- ja haja-asutusalueet. Flash-OFDM ei ole standardi tekniikka. Tekniikan on kehittänyt yhdysvaltalainen yritys nimeltä Flarion. Yrityksen on ostanut yhdysvaltalainen Qualcomm. Yritys pyrkii standardoimaan Flash-OFDM-tekniikkansa sen yleistymisen edistämiseksi. Maailman ensimmäinen kaupallinen toimiva 450 MHz:n taajuudella toteutettu verkko sijaitsee Slovakian Bratislavassa ja 19 muussa Slovakian kaupungissa. [19.]

450 MHz ja kantomatka

Seuraavaksi esitettävän laskelman perusteella tutkitaan laskennallista vaimenemisen eroa tietyllä matkalla. Etäisyys on 10 km, ja taajuudet ovat 450 MHz ja 3,5 Ghz.

$$L_{3,4GHz} = 20 \log_{10} \frac{300/3410MHz}{4\pi 10000m} dB = -123,097dB \approx -123dB \quad (12)$$

$$L_{450MHz} = 20 \log_{10} \frac{300/450MHz}{4\pi 10000m} dB = -105,506dB \approx -106dB \quad (13)$$

Kuten laskusta havaitaan, on kantavaimennus lähes 20 dB pienempi. kuin WiMAXin käyttämällä taajuudella. Tämä vaikuttaa huomattavasti tekniikalla saavutettavaan etäisyyteen. Tämän lisäksi tekniikan vaatimat tukiasemat voidaan usein sijoittaa jo valmiina oleviin mastoihin. Monet antennimastoista ovat alun perin NMT-verkon ajoilta, joten niiden sijainti on jo alkuaan suunniteltu oikeaoppisesti, käytettävä 450 MHz:n taajuus huomioon ottaen. [16.]

4.6 Tilanne Suomessa

Määräaikaan mennessä oli Suomessa 450 MHz:n taajuusalueella olevalle toimiluvulle tullut seitsemän hakijaa. Toimiluvan myöntää Viestintävirasto, Ficora. Toimilupaa olivat hakeneet Cubio Communications, Digita, Elisa, Finnet laajakaistaverkot, Lynxnet, Nordisk Mobiltelefon ja saunalahti Group. Toimiluvan ehtona oli verkon vuokraus muille operaattoreille sen valmistuttua. Käytettävä verkkotekniikka tuli olemaan joko cdma-450 tai Flash-OFDM. Lisenssi päättyi lopulta Digitalle, joka on lupautunut rakentamaan verkon maan kattavaksi vuoteen 2009 mennessä. Digita ilmoittaa, että ensimmäinen osa verkosta aukeaa vuoden 2007 alussa. Alkuun verkko tulee kattamaan rannikkoseutua ja pohjoisen haja-asutusalueita. Digita rakensi viiden tukiaseman kokoisen testiverkon pääkaupunkiseudulle syksyllä 2005. Testin tuloksena todettiin, että verkon kantavuus on ollut odotetulla tasolla. [20.]

4.7 Flash-OFDM:n tiedonsiirtonopeus

Flash-OFDM-verkon tämänhetkisen tiedonsiirtonopeuden luvataan olevan noin 1,5 Mbps asiakaspääteeseen ja noin 500 Kbps tukiasemaan päin. Esimerkiksi UMTS-verkossa nopeus on toistaiseksi jäänyt vain 384 Kbps:n tuntumaan. Flash-OFDM-taajuudesta ja modulaatiosta johtuen tekniikka toimii myös liikuttaessa. Tekniikan kehittäneen yhtiön mukaan päätelaitteet voivat siirtyä jopa nopeudella 250 km/h tukiasemaan nähden. Tekniikan kehittänyt yritys markkinoi myös piiriä, joka muistuttaa Intelin vastaavaa WiMAX-piiriä. Yrityksellä on jo valmiina myös tekniikan omaavia kortteja kannettaviin tietokoneisiin. Kilpailevan cdma-450-tekniikkaan verrattuna Flash-OFDM on suunniteltu IP-pohjaiseen tiedonsiirtoon. Puheen siirtoon Flash-OFDM ei sovellu niin hyvin kuin cdma-450. Tämä johtuu lähinnä tekniikan tavasta käsitellä dataa siten, että tasaisiin ja jatkuviin siirtonopeuksiin harvoin päästään. [19.]

5 WiMAX-tekniikan testaus lentokenttäympäristössä

5.1 Testauksen tavoitteet

WiMAX-tekniikan testauksesta lentokenttäympäristössä jouduttiin luopumaan. Päätös luopumisesta tapahtui jo projektin alkuvaiheessa. Syynä tähän oli suuri kuluerä, joka muodostuisi laitehankinnoista. Lisäksi Suomessa WiMAXin käyttämä taajuusalue 3,4–3,8 GHz on lisenssin alainen, joten testausta varten olisi joutunut hankkimaan luvan Viestintävirastosta. Näistä syistä johtuen testauksesta luovuttiin ja todettiin, että on parempi käydä tutustumassa jo olemassa oleviin verkkoihin, mikäli itse asennus tulee ajankohtaiseksi. Seuraavaksi kuitenkin käydään hieman läpi niitä asioita, jotka olisivat olleet mielenkiintoisia testauksen kannalta.

Käytännön testin perusedellytyksenä on, että yritys on suunnitellut tarpeensa riittävällä tasolla ja mitoittanut teoreettisesti laskelmien avulla tarvittavan laitteiston. Laitteistotoimittajia on jo useita, ja monet tuotteet on melko tarkoin suunniteltu tiettyyn käyttöön. Myös antennivalinnoilla on suuri merkitys niin kustannuksiin kuin myös verkon rakenteeseen. Yleisesti ottaen suuret ammattilaislaitteita toimittavat valmistajat ovat varsin realistisia antamissaan dokumenteissa, mutta on kuitenkin muistettava markkinoiden aiheuttama paine hieman parannella omien laitteiden tuloksia. Valmistajan omissa tuotteissa vertailu on usein realistista ja helppoa, mutta eri valmistajien laitteita voi olla hankala verrata keskenään, koska valmistajilla on tapana luoda materiaalia, joka näyttää ostajan kannalta hyvältä.

Testauksen kolmeksi tärkeimmäksi kriteeriksi valittiin:

- Vaimentuma sisätiloissa lentokenttäympäristössä.
- Todellinen suorituskyky ja soveltuvuus median jakeluun.
- LOS-yhteyden (näköyhteyden) rakentaminen.

5.2 Vaimentuma sisätiloissa

Testauksessa haluttiin mitata rakennuksen erilaisten seinä- ja vastaavien kiinteiden rakenteiden vaimentava vaikutus. Pyrittäisiin luomaan profiileja erilaisille esteille, jotka ovat signaalin edessä. Esimerkiksi betoniväliseinälle mitataan sen aiheuttama keskimääräinen vaimentuma. Testissä pitää ottaa myös huomioon monitie-eteneminen ja siitä aiheutuva vaimentumat tai vahvistukset. Testausjärjestely on varsin yksinkertainen. Aluksi mitataan tukiaseman ja päätelaitteen välillä oleva vaimentuma ennalta määritetyllä etäisyydellä. Tämän jälkeen koe toistetaan muuten samoin, mutta etenemissuunnan mukaisesti päätelaitteiden väliin laitetaan haluttu este. Mittaustuloksien ei ole tarkoitus olla liian tarkkoja, vaan suuntaa antavia. Mittaukseen käytettäisiin laitteiden omia sisäänrakennettuja toimintoja, joilla saadaan sisääntulosignaalin voimakkuus selville. Apuna voidaan myös käyttää erillisiä tähän tarkoitukseen suunniteltuja kenttävahvuusmittareita, mutta laitteiden kalleus aiheuttaa suurehkon kuluerän. Riittävä tarkkuus saadaan aikaan laitteiden antamilla tuloksilla.

Mikä on WiMAX-verkon todellinen suorituskyky esimerkiksi videon jakelussa? Kuinka se toimii käytännössä? Pystytäänkö verkon kapasiteetilla siirtämään hyvälaatuista videokuvaa ja kuinka monelle asiakkaalle samanaikaisesti?

Taulukossa 4 sivulla 31 on tietoa videokuvan QoS-palvelutason vaatimuksista.

LOS-yhteyden rakentaminen

- Havaitaanko Fresnel-vyöhykeongelmia (näköyhteyslinkki)?
- Päästäänkö SOM-laskelmalla haluttuun lopputulokseen?
- Mikä on lupapolitiikka? Antennin pystytys, taajuus-alue (Ficora)?

5.3 Johtopäätökset

Toimivan verkon rakentamisen edellytyksenä ovat perusteelliset laskelmat, joiden avulla verkon toimivuutta voidaan ennustaa. Testien käytännön osuuden perusteella saadaan selville toimivuus haastavassa lentokenttäympäristössä. Testaukselle on varattava aikaa useita viikkoja, koska verkon infrastruktuurin, tukiasemien, toistimien ja vahvistimien asentaminen vie aikaa. Laskelmien avulla saatu informaatio toimivasta verkosta on myös todettava käytännön testillä.

Ennakkoon tehtävä suunnittelu auttaa yritystä välttämään asennusvaiheessa ylimääräisiltä kustannuksilta, joita voi syntyä, jos tukiasema sijoitetaan väärään paikkaan. Järjestelmän tehokkuuden kannalta on oleellista, että saadaan aikaan verkko, joka toimii luotettavasti ja tasapainoisesti halutulla alueella.

6 Yhteenveto

Kokonaisuutena WiMAX-tekniikka on erittäin varteenotettava vaihtoehto, mikäli halutaan kasvattaa etäisyyksiä ja samalla tietoliikennesopeus halutaan pitää suurena. WiMAX-tekniikan yhtenä vahvuutena voidaan pitää valmista standardia sekä standardin yhteensopivuutta vastaavien tekniikoiden kanssa, kuten WiBRO:n ja ETSI:n Hiberanin kanssa. Suomessa ja maailmassa on suuri kysyntä langattomille verkkotekniikoille. Ihmiset ovat jo tottuneet kotioloissa käyttämään langattomuutta hyväksi, mutta tien päällä langattomuudesta hyötyvät vasta ne, joilla ei ole taloudellisia esteitä maksaa yhteydestä tai esimerkiksi työn luonne voi vaatia pääsyä verkkoon missä tahansa. Tämän hetken yleisin langaton tekniikka on ehdottomasti WLAN, eli standardin 802.11 mukaiset verkot. Tämä tekniikka on riittävä tämän päivän tiedonsiirtotarpeeseen. Voidaan katsoa, että ainoa tämän tekniikan huono puoli on saavutettava etäisyys.

Myös valmistajat ovat jo vuosia takaperin huomanneet kasvavan tarpeen luoda pidemmän välimatkan mahdollistavia verkkoja. Kuten tässä insinööriyössä on esitetty, esimerkiksi Intelin uudet verkkopiirit sisältävät tuen uusille langattomille verkkotekniikoille. Tässä huomataan, kuinka tärkeää on uusien tekniikoiden päämääräjohtainen standardointi. Maailmassa on tietoliikenteen alueella hyvin vähän tekniikoita, jotka ovat maailmanlaajuisesti käytössä ilman, että ne perustuvat tarkkaan standardiin. Ei-standardoidut tekniikat voivat toisinaan olla jopa parempia kuin standardit, ja tästä syystä ne yleistyvät laajalti, mutta tämä aiheuttaa usein ongelmia koko käyttökettjulle. Valmistajien on huomattavasti helpompaa ja kustannustehokkaampaa valmistaa laitteita, jotka ovat laajalti käytössä ja tekniikka on jo toimivaksi todettua. Laittevalmistajille kohdistuu tuotannossa suuri kuluerä, mikäli esimerkiksi valmistettavan laitteen radiomoduuli joudutaan valmistamaan eri prosessilla eri maihin.

Käyttäjien ja valmistajien keskuudessa on jo kauan tiedetty, että ihmiset haluavat helppoja ratkaisuja, vaikka hinta voi toisinaan kasvaa. Paljon matkustava ihminen voi usein olla huomattavankin osan työajastaan itse

matkalla. Lentokentillä, junissa ja vastaavissa paikoissa vietetty aika on arvokasta työaikaa, ja odotusaikahan halutaan hyödyntää tehokkaasti. Ihmiset eivät ole valmiita maksamaan eri paikoissa vaihtelevia maksuja useille eri tahoille. Tämän ongelman on muutama yritys jo huomannut, ja ne tarjoavat palvelua, jossa maksetaan käyttöoikeudesta yhdelle yritykselle. Tämän jälkeen maksun vastaanottanut yritys tekee sopimuksia pienien verkkoyhtiöiden kanssa. Tämä on oikea askel suuntaan, jossa ideaalitilanne olisi se, että maasta tai kaupungista riippumatta olisi helppoa päästä verkkoon ilman monimutkaisia rekisteröitymispalveluja tai odotusaikoja. Parhaimmillaan olisimme tilanteessa, jossa itse verkon käyttäjää ei laskuteta.

Vuosia takaperin, 1990-luvun puolessa välissä, kiinteän verkon operaattoreilla oli varsin kirjavia maksukäytäntöjä. Tarjolla oli minuuttiperusteista tai esimääritettyä aikaa käyttää verkkoa. Tähän hintaan ei kuulunut itse linjan omistavan verkko-operaattorin kuluja, jotka tulivat vielä internetlaskun päälle. Palveluiden yleistyessä markkinoille ilmaantui ”ilmaisia” internetoperaattoreita, jotka rahoittivat toimintaansa esimerkiksi pakollisilla mainoksilla, mutta edelleen tässä tilanteessa verkko-operaattori otti oman osansa linjamaksuina. Internetin käytön räjähdysmäinen lisääntyminen ja siitä aiheutunut hintakilpailu pakotti loputkin internetoperaattorit siirtymään kiinteään, yleensä kuukausiperusteiseen hinnoitteluun ja käyttömäärää tai aikaa ei rajoitettu. Tässä kohtaa voi nähdä analogian voimakkaasti yleistyvien langattomien verkkojen kanssa. Esimerkiksi Aasiassa on paljon kauppakeskuksia ja vastaavia yleisiä tiloja, joissa on ilmainen langaton verkko. Verkosta aiheutuneet kulut katetaan mainoksilla, joita sijoitetaan alueelle, missä verkko on. Näin siis saadaan kerättyä tietoa siitä, kuinka moni käyttää verkkoa ja kuinka kauan. Mainostilaa on helppo myydä, kun esittää, että keskimäärin verkkoa käyttää tällä alueella esimerkiksi 1 000 asiakasta päivässä ja keskimääräinen verkon käyttöaika on 15 minuuttia. Tämä on askel ilmaisten verkkojen suuntaan, mikäli tulevaisuus noudattaa samaa kaavaa kuin kiinteiden verkkojen kohdalla on tapahtunut.

Langattomuutta ei vielä hyödynnetä niissä kohteissa, joissa sen tarve on melko uusi. Vuosia sitten veneilijöiden keskuudessa tietokone oli varsin harvinainen esine. Nykyään erittäin monella veneilijällä on kannettava tietokone. Myös moni vierasvenesatama tarjoaa jonkinlaista pääsyä verkkoon. Omasta kokemuksestani tiedän, että langattomien verkkojen määrä on vähäinen ja yleensä tarjottu internetpalvelu tarkoittaa kahvion nurkassa olevaa tietokonetta, jonka käytöstä veloitetaan kohtuuttoman suuri maksu. Tässä on hyvä esimerkki siitä, kuinka uuden tekniikan kehittyminen todella kaikkien käytössä olevaksi hyödykkeeksi kestää oman aikansa. Itse uskon, että vuoteen 2010 mennessä veneilijöillä on käytössä langaton verkko lähes kaikissa satamissa ilmaiseksi ja ongelmallisilla alueilla on yrityksiä, jotka voivat vuokrata vaikkapa Flash-OFDM-päätelaitteita asiakkaille. Tämäntyyppisen verkon rakentamiskustannukset ovat kuitenkin melko pienet, ja laajemman toiminta-alueen omaavan verkon rakentaminen Suomessa on päätynyt Digitalle. Pienyrittäjien ei tarvitse rakentaa omaa verkkoa, vaan he voivat ostaa palvelun valmiina. Toiminta tulisi siis muistuttamaan GSM-verkon vuokraustoimintaa.

WiMAX-tekniikka ja vastaavat järjestelmät tulevat varmasti olemaan osa tätä kehitystä. Uudet tekniikat mahdollistavat suurehkolle alueelle helpon ratkaisun. WLAN:n kohdalla esimerkiksi satamassa joudutaan rakentamaan useita tukiasemia ja tarvittaessa näköyhteydellisiä linkkejä. Toisaalta tänä päivänä 802.11:n eli WLAN-tekniikan päätelaitteet ovat erittäin edullisia verrattuna WiMAX-laitteisiin ja vastaaviin. Osaava ihminen pystyy itse helposti ja nopeasti rakentamaan WLAN-verkon edullisesti. Tästä johtuen tämän työn alueeseen kuulunutta laitteistoasennusta ei tehty. Monelle pienelle ja keskisuurelle yritykselle on yksinkertaisesti liian suuri kynnys rakentaa langaton verkko tekniikalla, jonka yleisyyden vain tulevaisuus näyttää. Mikäli kokeiluverkko olisi rakennettu tämän työn puitteissa, laitteistokustannuksien lisäksi olisi jouduttu hakemaan Viestintävirastolta lupaa käyttää WiMAX-päätelaitteita. Kustannussyistä hankkeeseen ei lähdetty, vaan tultiin lopputulokseen, että on merkittävästi edullisempaa ja helpompaa toteuttaa verkko olemassa olevilla järjestelmillä.

Suomessa on jo muutamia esimerkkejä siitä, kuinka yhteistyöllä saadaan aikaan ilmaiseksi kuluttajille langattomia verkkoja. Esimerkiksi Helsingin Esplanadille luotiin langaton verkko, joka on ilmainen. Projekti kulkee nimellä openEspa. Tässä tapauksessa kustannukset jakavat yksityishenkilö sekä yritykset, joilla on liiketiloja verkon ja Esplanadin alueella. Tämän lisäksi palvelun etusivulla myydään mainostilaa, ensisijaisesti yrityksille, jotka kokevat hyötyvänsä openEspa-verkosta.

Monesti yhden toimijan aloittama hinnoittelun muutos aiheuttaa koko laskutusarkkitehtuurin ja toimintakulttuurin rakenteen muutoksen. OpenEspa-hankkeen myötä Helsinkiin on tullut jo useita ilmaisia WLAN-hot spoteja. Palveluidentarjoajat ovat siis huomanneet, että ylläpitokustannuksien kohdistaminen suoraan käyttäjälle ei lisää volyyymiä halutulla tavalla. Ilmainen verkko houkuttelee moninkertaisesti käyttäjiä, minkä jälkeen on helppo rahoittaa toimintaa aivan muilla keinoin, kuten kohdennettu mainonta. Toisinaan ei ole edes syytä mainosrahoitteisesti jakaa kustannuksia, koska ilmainen WLAN-verkko esimerkiksi kahvilassa on usein iso apu asiakasvirtojen luonnissa.

WiMAX-tekniikan käyttöä uudisrakentamisessa voidaan pitää kannattavana tänä päivänä vain harvoissa tilanteissa. WiMAX tukee MESH-rakennetta, joka on omiaan esimerkiksi pienkiinteistölähiössä. Vaikka tekniikka antaa mahdollisuuden hajautetun verkon rakentamiseen, se ei välttämättä ole kannattavaa. Uudisrakennusalueilla joudutaan joka tapauksessa kaivamaan useita maanalaisia linjoja jokaiselle kiinteistölle, sähkön, veden ja muun kunnallistekniikan takia. Samanaikaisesti on erittäin halpaa asentaa samaan kaivantoon kupari- tai valokaapelikaapelitekniikka, jolla päästään pienillä kustannuksilla erittäin nopeisiin ja luotettaviin tietoliikenneyhteyksiin. Valmiiksi rakennetuilla ja vanhoilla alueilla WiMAX-tekniikka voi saada jalansijan, koska monesti vanhoihin kiinteistöihin tulevat kuparikaapeliyhteydet ovat laadullisesti yksinkertaisesti liian heikkotasoisia ylläpitääkseen hyvän ja luotettavan yhteyden. Lisäksi haja-asutusalueella kiinteistöjen välimatkat ovat suuria verrattuna kaupunkitaajamaan. Tämänkaltaisilla alueilla WiMAX on varmasti

tulevaisuudessa vartenotettava vaihtoehto, ja Suomessa jo onkin olemassa muutama toteutettu WiMAX-verkko vastaavilla ongelma-alueilla. Ongelmaksi WiMAX-tekniikan kohdalla muodostuu myös erittäin harvaan asutettu alue, kuten Suomen Lappi.

Flash-OFDM on kilpaileva tekniikka WiMAXille. WiMAXista poiketen sitä ei ole vielä standardoitu. Tekniikan on kehittänyt Qualcomm-Flarionin-niminen yhdysvaltalainen yritys. Positiivista on se, että yritys antaa tekniikan lisensoitavaksi muille yrityksille. Tämä voi edesauttaa huomattavankin paljon tekniikan yleistymistä. Flash-OFDM:n ehdoton etu on sen käyttämä taajuusalue. 450 MHz:n taajuudella on helppo luoda suuria peittoalueita, ja lisäksi on huomioitava, että Suomen maastossa on jo valmiiksi paljon käytöstä poistettuja tai edelleen aktiivisia radiomastoja, jotka olivat aikanaan NMT-verkon käytössä, joka käytti samaa taajuusaluetta. Näitä mastoja voidaan ottaa suoraan käyttöön Flash-OFDM:n tekniikalle. Olemassa olevilla mastoilla on monesti jo valmiiksi tarpeeksi nopea yhteys, jolla voidaan yhdistyä nopeaan runkoverkkoon.

Tulevaisuus näyttää, mikä tekniikka tulee saamaan jalansijan. Ainoa varma asia on, että langattomat verkot ovat tulleet jäädäkseen. On helppo kuvitella tilanne, jossa tulevaisuudessa kiinteiden verkkojen osuus laskee selvästi ja aina useampi yhteys toteutetaan langattomasti. Laitteiden hinta laskee volyymin myötä ja kaapeloinnin kustannukset jäävät pois. Moni urakoitsija varmasti nauttii tilanteesta, jossa langattoman verkkotekniikan avulla uudisrakentamisessa voidaan rakennettaessa saada suuri kulujen pienennys, koska koko taloyhtiön tietoliikenne hoidetaan ilman kaapeleita. Langattomien verkkoarkkitehtuurien tulevaisuus on turvattu, mutta se tekniikka, joka on WLAN-tekniikan korvaaja tai rinnallaeläjä, jää nähtäväksi seuraavan 5–10 vuoden aikana. Tällä hetkellä näyttää vahvasti siltä, että WiMAX-tekniikka ei tule yleistymään siinä mittakaavassa kuin uskottiin 2000-luvun puolessavälissä. Muutama iso toimija, kuten Nokia, on ilmoittanut luopuvansa WiMAX-laitteiden valmistamisesta ja siirtyvänsä rinnakkaistekniikoihin. WiMAX saattaa jäädä siis tiettyjen erikoistapausten tekniikaksi, joka ei yleisty. Moni kehittyvä maa on ilmoittanut

rakentavansa tulevaisuuden verkon suoraan langattomasti. Maalankayhteydet jäävät maiden kohdalla pois. Esimerkiksi Viro on rakentamassa kuluttajille useilla alueilla ainoastaan langattomia verkkoja.

Lähteet

1. WiMAX Forum Overview.
<http://www.wimaxforum.org/about/wimax-forum-overview>
luettu 6.11.2006, tarkastettu 26.11.2009
2. The IEEE 802.16 Working Group on Broadband Wireless Access Standards.
<http://ieee802.org/16/>
luettu 6.11.2006, tarkastettu 26.11.2009
3. WiMAX, making ubiquitous high-speed data services a reality, Alcatel.
[www.itr-rescue.org/.../9-16-05%20Alcatel_WiMAX_White_Paper%20\(Hassib\).pdf](http://www.itr-rescue.org/.../9-16-05%20Alcatel_WiMAX_White_Paper%20(Hassib).pdf)
4. IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access
http://grouper.ieee.org/groups/802//16/docs/02/C80216-02_05.pdf
luettu 6.11.2006, tarkastettu 26.11.2009
5. WiMAX standards Proprietary Solutions White Paper, Alcatel.
<http://whitepapers.zdnet.co.uk/0,1000000651,260163293p,00htm>
6. Radiotaajuuksien käyttö Suomessa.
http://www.ficora.fi/attachments/suomiry/5kLHxQF0v/Radiotaajuuksien_kaytto__2009.pdf
tarkastettu 26.11.2009
7. WiMAX's technology for LOS and NLOS environments.
www.wimaxforum.org/.../WiMAXNLOSgeneral-versionaug04.pdf
tarkastettu 26.11.2009
8. Newstead, Simon. The Promise of WiMAX.
http://www.apricot.net/apricot2004/doc/cd_content/24th%20February%202004/01%20-%20TTA-3G%20Data%20Networks%20-%20Design%20Issues%20&%20Case
tarkastettu 26.11.2009
9. Certification Overview. WiMAX Forum Certification Program
<http://www.wimaxforum.org/certification/certification-overview>
tarkastettu 26.11.2009
10. WiMAX-verkot Suomessa.
http://fi.wikipedia.org/wiki/WiMAX#WiMAX-verkot_Suomessa
luettu 20.11.2006

11. Lehdistöiedote. Daimler Finland 26.6.2006.
<http://www.daimler.fi/>
tarkastettu 26.11.2009
12. Lehdistöiedote. Intel 25.10.2004.
<http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/2004/20041025net.htm>
tarkastettu 12.12.2009
13. Intel WiMAX Connection 2250.
<http://www.intel.com/network/connectivity/products/wireless/IntelWiMAXConnection2250.pdf>
tarkastettu 23.11.2009
14. WiMAX Forum roamind models white paper.
http://www.wimaxroaming.org/sites/default/files/resources/Public/WMF-T49-001-v01_White-Paper-on-Roaming-Models.pdf
tarkastettu 23.11.2009
15. IEEE 802.16e Task Group (Mobile WirelessMAN).
<http://ieee802.org/16/tge/>
tarkastettu 26.11.2009
16. Peltonen, Hannu, Perkkiö, Juha, Vierinen, Kari
Insinöörin (AMK) Fysiikka, Osa 2. Lahti:
Lahden teho-opetus. 1999.
17. Viinikainen, Ari. TLI245 Radiojärjestelmät
Jyväskylän Yliopisto 2003
18. ITU series g: Transmission systems and media, digital systems and networks.
<http://www.itu.int/ITU-T/recommendations/index.aspx?parent=698&print=1>
luettu 1.2.2007, tarkastettu 26.11.2009
19. Flash-OFDM Mobile Wireless Internet technology. Flarion Technologies.
<http://www.ima.umn.edu/talks/workshops/8-8-10.2001/Flarion/Flarion.pdf>
tarkastettu 23.11.2009
20. 450 MHz -taajuusalueen digitaalisen matkaviestinverkon suunnittelu käynnissä. Digita-tiedote 15.11.2005.
http://www.digita.fi/digita_dokumentti.asp?path=1840;3793;1973;9850;7744
tarkastettu 26.11.2009

21. Recommendations on matching hybrid wireless network technologies to deployment scenarios. Telenor.
http://www.telenor.no/broadwan/publ/BROADWAN_Deliverable_%20D8_hybridtechnologies.pdf
tarkastettu 26.11.2009

Liite 1. WiMAX-päätelaitevalmistajia

WiMAX-päätelaitevalmistajia

- Airspan Networks
- Alvarion
- Aperto Networks
- Axxcelera BroadBand Wireless
- Proxim Wireless Corporation
- Redline Communications
- Selex Communications
- SEQUANS Communications
- Siemens SPA
- SR Telecom
- Wavesat Wireless Inc.

Liite 2. Sähköpostikeskustelu, Ficora

Sähköpostikeskustelu Jan Engelberg, 18.1.2006

Radioverkkoasiantuntija

Matkaviestin- ja joukkoviestintäverkot ja radiotaajuudet, FICORA

Valmistelutyössä ollaan keskitytty kahteen WiMAX -taajuusalueeseen:

* 3,4-3,8 GHz (luvanvarainen taajuusalue)

* 5,8 GHz (suunniteltu luvasta vapaaksi tai ns. light licensign regiment)

Alempi taajuusalue on jo nyt osoitettu langattomien laajakaistaisten radiojärjestelmien käyttöön suurimmassa osassa Eurooppaa (Suomessa 3410-3590 MHz). Tällä hetkellä tutkitaan mahdollisuutta sallia mobiliteetti ko. taajuusalueella, se on perinteisesti osoitettu kiinteille järjestelmille (laitetekniikka ollut rajoittava tekijä). WiMAX on herättänyt keskustelun ja selvitystarpeen laatia suositus ko. taajuusalueen käytöstä Euroopassa. Tämän suosituksen on tarkoitus valistua tämän vuoden loppuun mennessä.

5,8 GHz taajuusalue on myös herättänyt kiinnostusta, koska se on suora jatko jo luvasta vapaille RLAN-laitteille osoitetulle taajuusalueelle (5470-5725 MHz). Suuremmilla tehoilla olisi mahdollista tehdä runkoyhteydet langattomalle verkolle varsin taloudellisesti. Tämän taajuusalueen käytöstä on valmisteilla suositus samassa eurooppalaisessa työryhmässä.

Päätöksen ja suosituksen valmistuminen edellyttää yhteensopivuustutkimusten suorittamista eri liikennelajien ja sovellusten välillä. Ongelmallisin tilanne koskee tällä hetkellä tutkien ja WiMAX-laitteiden yhteiskäyttöä 5,8 GHz taajuuskaistalla (sama ongelma on myös RLAN kaistalla). Tätä varten ko. laitteissa vaaditaan dynaaminen kanavan valinta (DFS) toiminto.

Nykyisin ei tehdä kansallisia päätöksiä tällaisten taajuusalueiden käytöstä vaan pyritään harmonisoituihin Euroopan laajuisiin ratkaisuihin, joten 5,8 GHz

taajuusalueen käytöstä/avaamisesta päätetään sitten kun ECC:n työryhmä valmisteleva suositus on hyväksytty.

2400,000 - 2483,500 MHz	Efektiiivinen säteilyteho ≤ 100 mW EIRP.
5150,000 - 5250,000 MHz	Efektiiivinen säteilyteho ≤ 200 mW EIRP lähetteen spektrin tehottiheys oltava $\leq 0,25$ mW/25 kHz EIRP. Saa käyttää ainoastaan sisätiloissa.
5250,000 – 5350,000 MHz ,	Efektiiivinen säteilyteho ≤ 200 mW EIRP lähetteen spektrin tehottiheys oltava ≤ 10 mW/1 MHz EIRP. Saa käyttää ainoastaan sisätiloissa.
5470,000 - 5725,000 MHz	Efektiiivinen säteilyteho ≤ 1 W EIRP, lähetteen spektrin tehottiheys oltava ≤ 50 mW/ 1 MHz EIRP.
5725 - 5875 MHz	Efektiiivinen säteilyteho ≤ 25 mW EIRP.